

Гидрогеология и инженерная геология

УДК 550.42:577.4(571.1)

ВОДНЫЙ И ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ВАСЮГАНСКОГО БОЛОТА (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ, РОССИЯ)

О.Г. Савичев, В.А. Базанов*, А.А. Скугарев*, Ю.А. Харанжевская**, А.В. Шмаков

Томский политехнический университет

*ООО «ИНГЕОТЕХ», г. Томск

**Сибирский НИИ сельского хозяйства и торфа СО РАСХН, г. Томск

E-mail: OSavichev@mail.ru

Рассмотрены гидрологические и гидрохимические условия восточной части крупнейшего в мире Васюганского болота (Западная Сибирь). На примере внутриболотной реки Ключ выполнено геоэкологическое районирование водосборной территории, определены среднегодовые значения элементов водного баланса и их внутригодовое распределение. Установлено, что водный сток р. Ключ относительно слабо связан с общим увлажнением водосбора вследствие накопления и перераспределения влаги в болотных экосистемах. Приведены предварительные сведения о внутригодовом изменении химического состава болотных вод сосново-сфагново-кустарничковой экосистемы. Показано, что наиболее интенсивные гидрогеохимические процессы протекают на окраинах болота.

Ключевые слова:

Болотные экосистемы, водный и гидрохимический режим, Васюганское болото, Западная Сибирь.

Key words:

Bog ecosystems, water and hydrochemical regime, the Kluch river, the Vasyugan bog, the Western Siberia.

Введение

Васюганское болото, расположенное в южной части Западной Сибири, является одним из крупнейших болот мира. Согласно [1], его площадь составляет 5269437 га. Однако, по мнению авторов, это оценка носит весьма приближенный характер (в сторону занижения) вследствие сложности определения границ непрерывно изменяющего комплекса олиготрофных (верховых), мезотрофных (переходных), евтрофных (низинных) болот, внутриболотных водоёмов и водотоков, заболоченных земель. По данным [2, 3], средняя скорость вертикального прироста торфяной залежи на Васюганском болоте составляет около 1...1,5 мм/год. Следовательно, ежегодно объем торфяной залежи увеличивается более чем на 0,05 км³. Соответственно, возрастает и объем аккумулируемой в болоте воды (ориентировочно 0,040...0,045 км³), что не может не оказывать влияние на состояние окружающей среды и климата, по крайней мере, на региональном уровне. С учётом этого авторами с 2000 г. проводит-

ся системное изучение водного и гидрохимического режима Васюганского болота. Ниже приведены результаты исследования водного и гидрохимического режима малой реки Ключ (элемент гидрографической системы: р. Ключ – р. Бакчар – р. Чая – р. Обь), водосбор которой расположен в восточной части Васюганского болота (рис. 1). Выбор именно этого объекта обусловлен как его типичностью для южно-таёжной подзоны Западной Сибири, так и наличием длительных рядов гидрологических и метеорологических наблюдений.

Исходные материалы и методика исследования

Исходной информацией послужили: 1) данные Томского политехнического университета (ТПУ), ОАО «Томскгеомониторинг» и Сибирского НИИ сельского хозяйства и торфа (СибНИИСХиТ) СО РАСХН о химическом составе болотных вод в водосборе р. Ключ и на прилегающих территориях за 2001–2009 гг.; 2) данные ОАО «Томскгеомониторинг» о химическом составе подземных вод на ре-

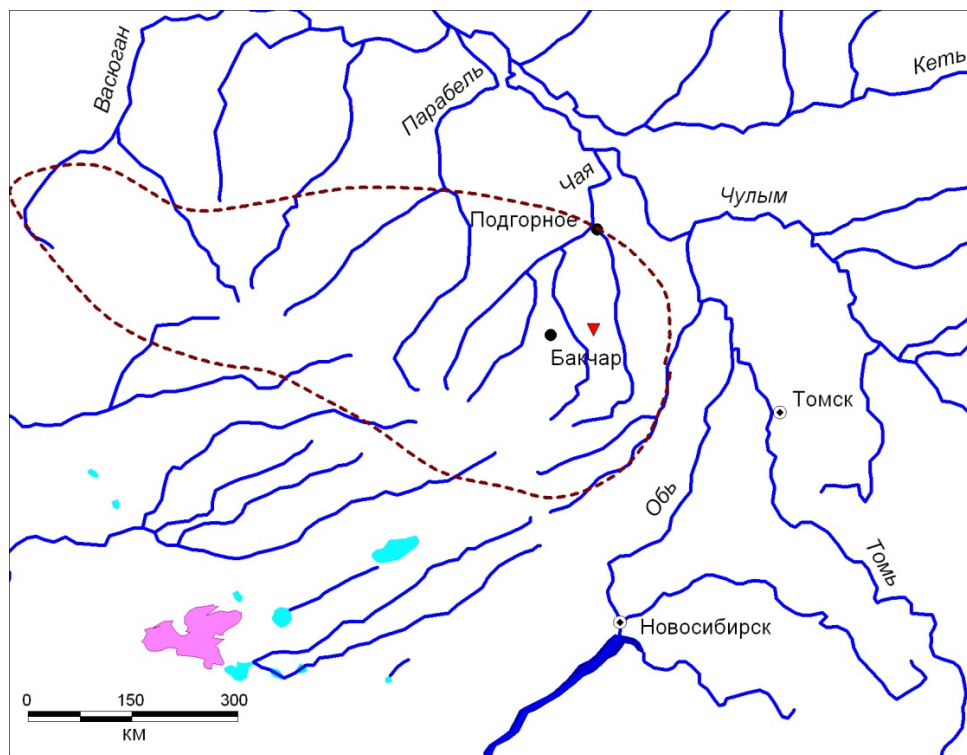


Рис. 1. Схема расположения района исследований (1) и ориентировочных границ Васюганского болота (согласно [1])

жимных скважинах в с. Бакчар и с. Чажемто за 1965–2005 гг.; 3) данные СибНИИСХиТ СО РАСХН об уровнях болотных вод в водосборе р. Ключ за 1998–2008 гг.; 4) данные Росгидрометслужбы о температуре атмосферного воздуха и атмосферных осадках в с. Бакчар и расходах воды р. Ключ у с. Полынянка за 1973–2006 гг.

Методика исследований включала: 1) полевые геоботанические, гидрохимические и гидрологические исследования, выполненные авторами в 2001–2009 гг. в составе экспедиций ТПУ, ОАО «Томскгеомониторинг», СибНИИСХиТ СО РАСХН; 2) обобщение и статистический анализ данных геоботанических, гидрологических, гидрогеологических, метеорологических и гидрохимических наблюдений; при отборе гидрохимических данных приоритет отдавался сведениям, полученным в аккредитованных лабораториях ОАО «Томскгеомониторинг» и ТПУ; методика статистического анализа приведена в [4, 5]; 3) анализ экосистем, уточнение и/или определение морфометрических характеристик водосбора р. Ключ и выявление внутриболотных экосистем на основе дешифрирования космоснимков, выполненных с ИСЗ Landsat 7 в пяти спектральных диапазонах с разрешением 30 м; при дешифрировании синтезированных изображений преимущественно использовался синтез пятого (1,55...1,75 мкм), четвертого (0,76...0,90 мкм) и второго (0,52...0,60 мкм) каналов; 4) разработку математической модели водного баланса водосбора р. Ключ по методике, изложенной в [5].

Результаты исследования и их обсуждение

На основе анализа космоснимков и материалов полевых геоботанических исследований авторами выполнено геоэкологическое районирование территории водосбора р. Ключ и показано, что одной из главных её особенностей является преобладанием олиготрофных грядово-мочажинных комплексных, сфагново-сосново-кустарничковых, сфагново-осоковых и сфагново-осоково-пушицевых, сосново-сфагново-кустарничковых и грядово-озерково-мочажинных комплексных экосистем (рис. 1; табл. 1). Кроме того, были уточнены приведенные в [6] оценки площади водосбора р. Ключ и его общей заболоченности в сторону увеличения значений указанных параметров.

Водный баланс водосбора исследуемой реки характеризуется неравномерным распределением в течение года суммарного испарения, стока и общего увлажнения, складывающегося из жидких атмосферных осадков и водоотдачи из снежного покрова за вычетом испарения и инфильтрации. Максимальные значения стока наблюдаются в мае, когда общее увлажнение водосбора превышает «потери» стока, формирующиеся за счёт испарения, инфильтрации и поверхностного задержания. По мере увеличения испарения расходы речных вод уменьшаются вплоть до прекращения руслового стока (рис. 3). В целом можно констатировать факт весьма слабой зависимости величины слоя водного стока р. Ключ от общего увлажнения водосборной территории и испарения. Это объясняется не толь-

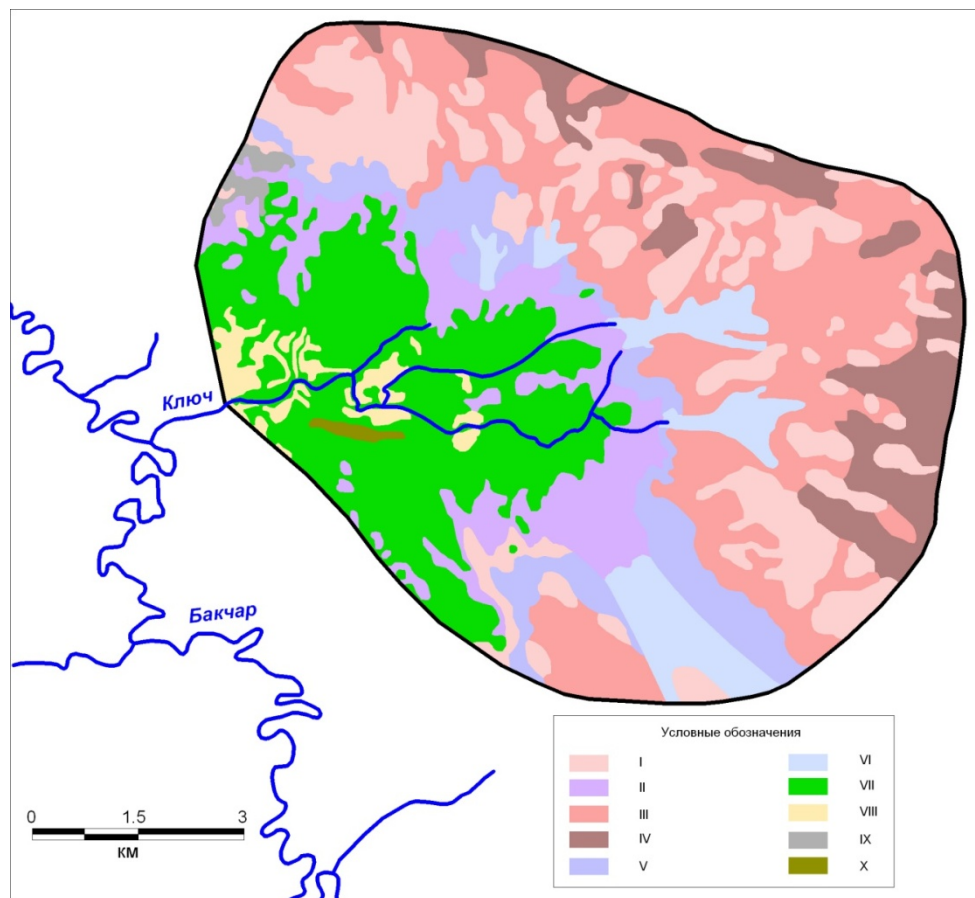


Рис. 2. Схема распространения внутриболотных биогеоценозов в водосборе р. Ключ (номера выделенных участков соответствуют перечню биогеоценозов в табл. 1)

ко внутригодовым распределением теплоэнергетических ресурсов [7], но и регулирующей ролью внутриболотных экосистем, в которых происходит накопление и перераспределение запасов влаги. При этом важное значение имеет и различие в условиях стока с заболоченных и незаболоченных территорий в годы разной водности, описанное в [8], и возможность стока одновременно в разные речные системы. В частности, с рассматриваемой территории водный сток может осуществляться не только р. Ключ, но и в расположенную восточнее р. Гавриловку (элемент гидрографической системы р. Гавриловка – р. Икса – р. Чая – р. Обь).

Подъем уровней болотных вод обычно приурочен к апрелю, максимумы – в мае, после чего наблюдается постепенное их уменьшение (табл. 2). Наибольшие колебания уровней болотных вод характерны (по величине среднего квадратического отклонения) для сосново-сфагновых внутриболотных экосистем в августе – сентябре, наименьшие – на сфагново-осоковой топи, где одновременно, как правило, наблюдались и минимальные глубины залегания болотных вод относительно поверхности болота. Диапазон колебаний уровней болотных вод в целом незначительный – от 0,04 до 0,17 м.

Таблица 1. Морфометрические характеристики водосбора р. Ключ (закрывающий створ у с. Полянника)

№ на рис. 2	Экосистема	Площадь	
		км ²	%
I	болотная сфагново-сосново-кустарничковая	13,63	18,0
II	болотная сосново-сфагново-кустарничковая	7,33	9,7
III	болотная грядово-мочажинный комплексная	19,2	25,3
IV	болотная грядово-мочажинно-озерковый комплексная	6,86	9,1
V	болотная сфагново-осоковые и сфагново-осоково-пушицевая (топи)	6,21	8,2
VI	болотная сфагново-осоковый и сфагново-осоково-пушицевая (топи) в истоках водотоков	4,48	5,9
VII	лесная лиственная и смешанная	15,56	20,6
VIII	агроэкосистема (поля)	1,73	2,3
IX	нарушенная болотная (гари)	0,49	0,6
X	болотная берёзово-осоково-кустарниковая	0,21	0,3
Водосбор в целом (согласно [6], 44 км ²)		75,7	100
Суммарная заболоченность (согласно [6], 15 %)		57,92	76,6

Анализ многолетних изменений элементов водного баланса рассматриваемой территории, результаты которого частично приведены в [4], показал, что в последние 15...20 лет (по сравнению с 1970–1980-ми гг.) наблюдается: 1) увеличение

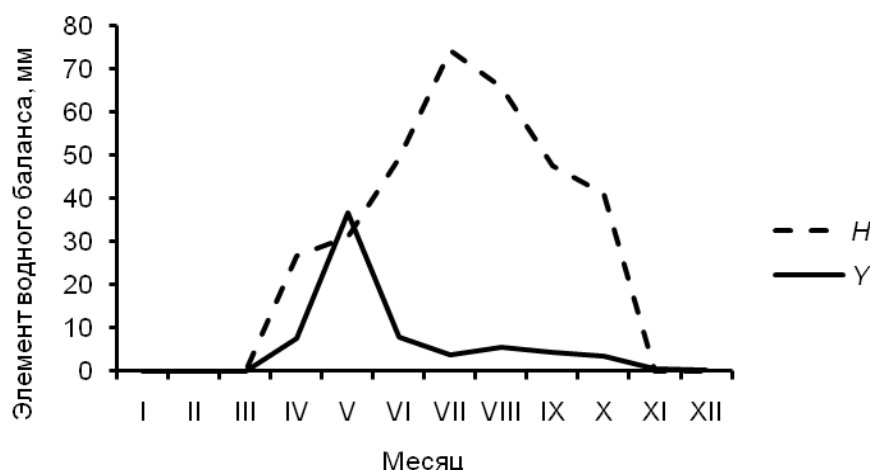


Рис. 3. Внутригодовое изменение слоя общего увлажнения (H) и стока р. Ключ у с. Польшанка (Y) в среднем за 1973–2006 гг.

среднемесячной температуры атмосферного воздуха в феврале, мае и октябре, общего увлажнения водосбора и суммарного испарения в октябре, слоя стока р. Ключ в августе и сентябре; 2) уменьшение увлажнения водосбора в апреле и мае, испарения в апреле, слоя стока в апреле, июне, ноябре и декабре. Кроме того, выявлено увеличение суммы положительных температур воздуха (в том числе суммы температур более 10°C), что косвенно указывает на определенное улучшение условий произрастания среднетребовательной к теплу растительности и, возможно, повышение биопродуктивности экосистемы рассматриваемой территории. Тем не менее, годовые характеристики водного баланса остаются статистически неизменными (при уровне значимости 5 %).

Таблица 2. Значения средних арифметических (A) и средних квадратических отклонений (σ) уровней болотных вод в водосборе р. Ключ за 1998–2008 гг.

Болотная экосистема	Характеристика	Месяц					
		V	VI	VII	VIII	IX	V–IX
сосново-сфагново-кустарничковая	A, м БС	112,28	112,19	112,12	112,08	112,07	112,15
	σ , м	0,09	0,10	0,11	0,16	0,15	0,09
сосново-сфагново-кустарничковая на границе с болотной сфагново-осоковой (топяной)	A, м БС	113,59	113,56	113,51	113,47	113,44	113,51
	σ , м	0,06	0,04	0,07	0,12	0,13	0,06
сфагново-осоковая (топяная)	A, м БС	113,42	113,39	113,36	113,34	113,34	113,37
	σ , м	0,05	0,05	0,06	0,08	0,08	0,03

Болотные воды рассматриваемого участка Васюганского болота характеризуются в целом как слабокислые или нейтральные, пресные с малой и средней минерализацией [9]. Минерализация вод в среднем изменяется от 76 мг/дм^3 в олиготрофных внутриболотных экосистемах до 439 мг/дм^3 в евтрофных. Содержания органических веществ до-

стигает 100 мгС/дм^3 и более. Значительная их часть представлена гуминовыми (ГК) и фульвокислотами (ФК). В целом, для изученных болотных вод характерно систематическое превышение установленных нормативов качества для водных объектов хозяйственно-питьевого назначения по величине рН и химического потребления кислорода (ХПК), содержанию железа, марганца, азота аммонийного (табл. 3, 4).

Таблица 3. Химический состав поверхностных вод в пределах внутриболотных экосистем Васюганского болота и подземных вод на прилегающих территориях

Показатель	Внутриболотные экосистемы восточной части Васюганского болота в апреле 2003 г.			Ручей на границе болота и смешанного леса в апреле 2003 г.	Подземные воды в среднем за многолетний период	
	сосново-сфагново-кустарничковая	болотная сфагново-осоковая (топь)	берёзово-осоково-кустарничковая		Четвертинные отложения у с. Бакчар	Палеогеновые отложения у с. Чажемто
рН	3,93	4,11	4,46	6,34	7,19	6,93
Ca^{2+}	2,0	4,8	20,0	34,0	48,1	79,5
Mg^{2+}	<1	3,6	3,6	6,6	15,3	31,8
HCO_3^-	3,7	11,0	65,9	99,8	243,2	451,5
Cl^-	0,7	1,0	3,5	3,5	9,9	20,9
SO_4^{2-}	22,5	16,8	28,6	28,6	1,3	<1
ХПК	84,0	64,4	121,4	125,1	Нет данных	Нет данных

Обобщение данных гидрохимических наблюдений показало, что на границе болотных и лесных ландшафтов происходит интенсивное насыщение поверхностных вод различными неорганическими

и органическими веществами (табл. 3), что объясняется (в случае олиготрофных экосистем), во-первых, контактом кислых болотных вод, содержащих большое количество ФК, с минеральным грунтом и последующим образованием водорастворимых и коллоидных комплексов. Во-вторых, на окраинах болот скапливается значительное количество воды и формируются ее направленные потоки, с которыми и выносятся образовавшиеся соединения. В-третьих, при движении потоков воды происходит размыв почвогрунтов и формирование твёрдого стока, сопровождающееся увеличением площади контакта воды и частиц породы, сорбцией на поверхности последних некоторых растворенных и коллоидных веществ и т. д. [10].

Таблица 4. Среднемесячные значения уровней болотных вод, pH и концентраций растворенных веществ в болотных водах сосново-сфагново-кустарничковой экосистемы в водосборе р. Ключ за 2006–2008 гг.

Показатель	Месяц					
	IV	V	VI	VII	VIII	IX
pH	4,29	4,86	4,39	4,42	4,28	4,43
Ca ²⁺ , мг/дм ³	5,0	5,5	7,1	10,7	9,7	8,7
NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	5,00	4,49	5,46	10,63	8,66	11,33
NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	0,2	0,29	0,25	0,33	0,33	0,69
Fe _{общ.} , мг/дм ³	1,83	1,87	2,66	3,73	3,69	3,76
ГК, мг/дм ³	4,85	5,95	7,71	7,54	17,62	11,99
ФК, мг/дм ³	45,10	36,84	76,05	94,75	57,56	95,26

Временные изменения химического состава болотных вод региона, в целом, и водосбора р. Ключ, в частности, изучены крайне недостаточно. Предварительно можно лишь сделать вывод об отсутствии ярко выраженного увеличения минерализации вод олиготрофных экосистем в зимний период, характерного, например, для речных вод, что связано с минимальным влиянием подземного питания. Тем не менее, определенные сезонные изменения отмечены. По данным СибНИИСХиТ, в пределах сосново-сфагново-кустарничковой внутриболотной экосистемы они проявляются в некотором увеличении в июле – сентябре концентраций Ca²⁺, ГК, ФК, соединений азота и железа (табл. 4). В случае органических кислот и соединений азота это объясняется постепенным усилением минерализации органического вещества в конце лета, в случае железа и ионов кальция – определенным разбавлением весной болотных вод снеговыми и более интенсивным образованием в летне-

осенний период (по сравнению с весенним) комплексов с ФК.

Заключение

Болотные экосистемы рассматриваемой территории Васюганского болота представляют собой специфические объекты с несколькими входными и выходными каналами обмена веществом и энергией с окружающей средой, что значительно усложняет их изучение. Водный сток с болота относительно слабо связан с общим увлажнением водосбора вследствие его естественной зарегулированности, обусловленной накоплением влаги в торфяной залежи и её перераспределением в течение года и между внутриболотными экосистемами. Другой их особенностью является наличие гидрологических и гидрохимических условий, резко отличающихся от соответствующих показателей рек, озёр, подземных вод и определяющих высокую степень несоответствия установленным в России нормативам качества окружающей среды. Например, в болотных водах (с учётом типа болота) практически повсеместно и всегда наблюдается превышение предельно допустимых значений pH, концентраций железа, органических веществ, азота аммонийного (реже – нитритного). Но это никаким образом не свидетельствует о загрязнении болот, поскольку болотные воды по определению содержат большое количество органических веществ, некоторая часть которых минерализуется с образованием аммиака.

В условиях дефицита кислорода процесс нитрификации протекает недостаточно интенсивно, что и приводит к накоплению в болотных водах ионов аммония и нитритов. Как следствие, любая попытка предъявлять к болотам требования, применимые для «обычных» водных объектов или почв, неизбежно приводят к оценке болот как чрезвычайно загрязнённых объектов, что совершенно не соответствует действительности. С учётом этого болото следует рассматривать как особый специфический природный объект, к которому применение «обычных» нормативов качества воды некорректно. Следовательно, необходимы дальнейшие исследования гидрогеохимического болотного «фона» и закономерностей его пространственно-временных изменений.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 08-04-92497-НЦНИЛ_a и 08-05-92500-НЦНИЛ_a.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инишева Л.И., Земцов А.А., Лисс О.Л. и др. Васюганское болото / под ред. Л.И. Инишевой. – Томск: ЦНТИ, 2003. – 212 с.
2. Львов Ю.А. Болотные ресурсы // Природные ресурсы Томской области / под ред. И.М. Гаджиева и А.А. Земцова. – Новосибирск: Наука, 1991. – С. 67–75.
3. Пологова Н.Н., Лапшина Е.Д. Накопление углерода в торфяных залежах Большого Васюганского болота // Большое Васюганское

- болото. Современное состояние и процессы развития / под ред. М.В. Кабанова. – Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2002. – С. 174–179.
4. Савичев О.Г., Харанжевская Ю.А. Многолетние изменения гидроклиматических условий в бассейне реки Чая (Западная Сибирь) // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 313. – № 1. – С. 82–87.
5. Савичев О.Г., Камнева О.А. Водный сток реки Вах (Западная Сибирь), условия его формирования и многолетние изменения

- // Известия Томского политехнического университета. — 2009. — Т. 315. — № 1. — С. 80–83.
6. Основные гидрологические характеристики. Т. 15. Алтай, Западная Сибирь и Северный Казахстан. Вып. 1. Верхняя и Средняя Обь / под ред. Е.П. Шурупа. — Л.: Гидрометеиздат, 1979. — 488 с.
7. Инишева Л.И., Дубровская Л.И., Инишев Н.Г. Гидрологический режим верхового болота // Мелиорация и водное хозяйство. — 2008. — № 1. — С. 54–57.
8. Иванов К.Е. Водообмен в болотных ландшафтах. — Л.: Гидрометеиздат, 1975. — 280 с.
9. Савичев О.Г. Химический состав болотных вод на территории Томской области (Западная Сибирь) и их взаимодействие с минеральными и органоминеральными соединениями // Известия Томского политехнического университета. — 2009. — Т. 314. — № 1. — С. 72–77.
10. Савичев О.Г., Базанов В.А., Здвижков М.А. Химический состав природных вод болотных ландшафтов с разной степенью антропогенной нагрузки // Проблемы поисковой и экологической геохимии Сибири: Труды российской научн. конф. / под ред. С.Л. Шварцева. — Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2003. — С. 274–276.

Поступила 30.09.2009 г.

УДК 550.42:577.4(571.1)

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА БАСЕЙНОВ МАЛЫХ РЕК НА ЮГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

О.Г. Савичев, И. Болон*, Ю.А. Харанжевская**

Томский политехнический университет

*Чешский технический университет, г. Прага

**Сибирский НИИ сельского хозяйства и торфа СО РАСХН, г. Томск

E-mail: OSavichev@mail.ru

На примере типичных для подтаёжной и южнотаёжной подзон Западной Сибири малых рек в бассейнах рр. Томь и Чая – рек Порос, Басандайка и Ключ – выполнен расчет месячного водного баланса и статистический анализ многолетних изменений сезонных и годовых значений общего увлажнения водосборов, стока и его потерь. Установлено, что после 1970 г. произошло статистически значимое увеличение температуры приземного слоя атмосферного воздуха и, как следствие, смещение границ гидрологических сезонов. В северной части бассейна р. Томь в последние 2–3 десятилетия это проявляется в увеличении зимнего стока р. Басандайка. В случае сильно заболоченных территорий в бассейне р. Чая, напротив, произошло статистически значимое уменьшение стока в весенний и зимний периоды вследствие определенного уменьшения увлажнения. Антропогенное влияние на сток малых рек в целом незначительно.

Ключевые слова:

Юг Западной Сибири, малые реки, водный баланс, многолетние изменения.

Key words:

The south of Western Siberia, the small rivers, water balance, long-term changes.

Введение

В последние десятилетия во многих регионах мира, включая Западную Сибирь, наблюдаются заметные изменения климата, связанные с ростом среднегодовой температуры приземных слоёв атмосферного воздуха. В перспективе они могут стать причиной значительных перемен в социально-экономическом развитии обширных территорий, что обуславливает актуальность исследований многолетних изменений климатических и связанных с ними гидрологических условий. В данной работе эта проблема рассмотрена в рамках изучения водного баланса водосборов малых рек подтаёжной и южно-таёжной подзон Западной Сибири – рек Басандайка, Порос (правый и левый притоки р. Томь) и Ключ (элемент речной сети: Обь – Чая – Бакчар – Ключ; рисунок).

Актуальность работы обусловлена необходимостью понимания возможных последствий наблюда-

емого потепления климата и прогрессирующего заболачивания Западной Сибири [1, 2] на водный сток малых рек, а выбор объекта исследований – тем, что указанные водотоки являются типичными для южнотаёжной (р. Ключ, водосбор в пределах Васюганского болота) и подтаёжной (рр. Басандайка и Порос) подзон, причём сток р. Басандайка формируется в условиях, более близких к южнотаёжной подзоне, а сток р. Порос – к лесостепной зоне. Кроме того, значительная часть долины р. Порос занята торфяниками мощностью до 3 м и более, а территория водосбора р. Басандайка характеризуется наличием низинных болот в долине и понижениях на водоразделах с незначительной мощностью торфяной залежи. Таким образом, несмотря на географическую близость, физико-географические и морфометрические характеристики указанных водотоков и их водосборов, а следовательно, и водный режим существенно отличается друг от друга.